

Un índice objetivo de capacidad lectora: El 'potencial de reconocimiento' (PR) y el área cerebral que procesa las formas visuales de las palabras

Manuel Martín-Loeches^{a,b*}

^aCentro UCM-ISCIH de Evolución y Comportamiento Humanos, España.

^bDpto. de Psicobiología, Universidad Complutense de Madrid, España.

INFORMACIÓN ARTÍCULO

Manuscrito recibido: 08/04/2013

Revisión recibida: 10/09/2013

Aceptado: 30/09/2013

Palabras clave:

Lectura

Procesamiento visual

Potencial de reconocimiento

Área para las formas visuales de las palabras

Keywords:

Reading

Visual processing

Recognition Potential

Visual Word Form Area

RESUMEN

En este artículo se revisa la literatura científica relativa a un componente de la actividad eléctrica cerebral, el llamado Potencial de Reconocimiento o PR, de enorme utilidad en el estudio y la exploración de uno de los procesos probablemente más relevantes implicados en la lectura. Se trata de una fluctuación eléctrica negativa cuyo pico oscila entre los 200 y los 250 ms tras la presentación visual de una palabra. Su origen neural está en el área cerebral que procesa las formas visuales de las palabras, situada en la base de la corteza cerebral del lóbulo temporal, fundamentalmente izquierdo. En esta zona convergen igualmente los resultados, parciales o finales, de multitud de procesos implicados en la lectura, desde los más perceptivos-visuales hasta otros de mayor rango en la jerarquía de procesos, tales como el acceso al contenido léxico-semántico de la palabra o el contexto semántico oracional. Lo interesante es que todos estos procesos, además del análisis estructural de la forma de la palabra, afectan al PR y, por tanto, pueden ser estudiados, directa o indirectamente, a través del mismo.

© 2013 Colegio Oficial de Psicólogos de Madrid. Todos los derechos reservados.

An objective index of reading ability: the 'Recognition Potential' (RP) and the brain visual word form area

ABSTRACT

The present article reviews the scientific literature on a component of brain electrical activity named Recognition Potential, or RP, of great interest in the study and exploration of one of the main processes involved in reading. The PR is an electrical fluctuation peaking at about 200 to 250 ms after the onset of a visually presented word. Its neural origin locates within the so-called visual word form area, within the basal temporal cortex, mainly left. Up to this area they converge partial or complete analyses on multiple processes implied in reading, from most perceptual and primary to higher-order cognitive processes such as lexico-semantic access or semantic integration of the word within a sentential context. Of interest, all these processes affect the RP and, therefore, they can be studied, directly or indirectly, by means of this component.

© 2013 Colegio Oficial de Psicólogos de Madrid. All rights reserved.

El área cerebral para las formas visuales de las palabras (AFVP)

La lectura es un acto relativamente complejo y que, desde un punto de vista neurofisiológico, aún no hemos definido completamente y a gusto de todos. No obstante, el volumen de investigación neurocognitiva realizado al respecto hasta la fecha es tal que a día de hoy es posible ya aportar datos empíricos y modelos de relevancia que

puedan ser de utilidad para todos aquellos interesados en este comportamiento, la lectura, una capacidad que sin duda ha marcado para siempre el devenir de la Humanidad.

Aunque no exenta de polémica (Price y Devlin, 2003), se puede decir casi con total certeza que existe un área del cerebro muy bien definida y cuyo papel en la lectura es totalmente determinante. Con independencia de si en la lectura utilizamos la ruta fonológica, la semántica, una mezcla de ambas, o cualquier otra alternativa, un área denominada Área para las Formas Visuales de las Palabras (AFVP; o Visual Word-Form Area, en inglés -VWFA-) sería el punto clave que permite la entrada de la información visual escrita a los circuitos cerebrales del lenguaje (Dehaene y Cohen, 2011).

*La correspondencia sobre este artículo debe enviarse al Prof. Manuel Martín-Loeches. Centro UCM-ISCIH de Evolución y Comportamiento Humanos. Monforte de Lemos, 5, Pabellón 14. 28029 Madrid. E-mail: mmartinloeches@edu.ucm.es Web: www.ucm.es/info/neurosci/

La idiosincrasia de esta zona de la corteza cerebral, situada en la base del cerebro, principalmente en el lóbulo temporal (y quizá parte del occipital) del hemisferio cerebral izquierdo, sería precisamente la que ha impuesto las condiciones que determinan las características de los sistemas de escritura de todas las culturas humanas. En realidad, la escritura es una invención cultural humana, es decir, no estaría basada en circuitos neuronales específicos modelados por selección natural. El habla humana, su vertiente auditivo-verbal, sí parece un producto de la selección natural, pues es aprendida sin muchas dificultades por los miembros de nuestra especie y desde la más temprana infancia; en cambio, la lectura y la escritura conllevan un mayor nivel de esfuerzo, señal de que para su aprendizaje se estarían empleando circuitos cerebrales cuya función natural habría sido otra. Se estarían en realidad "reciclando" determinados sistemas de procesamiento para dar cabida, mediante la educación -la cultura- al acto de la lectura y la escritura (Dehaene y Cohen, 2007). Para el caso concreto de la lectura, las áreas cerebrales utilizadas estarían inicialmente adaptadas para el reconocimiento de objetos, especialmente de las invariantes formales de configuraciones de sus contornos. Al proyectarse en la retina, los contornos de los objetos forman patrones típicos (por ejemplo, T, Y, O) que tienden a ser invariantes al punto de vista y que proporcionan información esencial sobre los objetos percibidos y sus relaciones espaciales (Biederman, 1987). Una 'Y', por ejemplo, indicaría la conjunción de tres superficies. Efectivamente, el AFVP estaría utilizando parte de estas zonas corticales (Szwed, et al., 2011). Como se puede inferir fácilmente, las letras de nuestro alfabeto vienen fuertemente condicionadas por este sistema, y ésta parece ser una constante de todos los alfabetos conocidos, actuales e históricos (Changizi, Zhang, Ye, y Shimojo, 2006), e incluso prehistóricos (von Petzinger, 2005).

Mediante el ejercicio, el aprendizaje, una parte de la zona que compartimos con la mayoría de los primates para la identificación de objetos se convertiría en el AFVP. De esta manera, una pequeña región de nuestra corteza cerebral se adaptaría a la capacidad de identificar letras y combinaciones de letras frecuentes, es decir, al reconocimiento de palabras completas y morfemas de uso en una determinada lengua escrita. Esa adaptación implica el reconocimiento de determinados invariantes visuales 'culturales', y por tanto responde independientemente de que la escritura esté en mayúsculas o minúsculas (Dehaene et al., 2004), o escrita a mano o en letras de imprenta (Qiao et al., 2010).

Pero la funcionalidad del AFVP y sus conexiones funcionales con otros procesos implicados en la lectura no se limitan a esta breve descripción que hemos hecho hasta ahora. Hasta aquí tan sólo hemos

destacado su papel crucial para la lectura, para su surgimiento y su desarrollo, y de ahí cabe destacar la importancia del estudio de la AFVP en los procesos de lectura, tanto con fines de investigación como a nivel individual o con objetivos diagnósticos. A partir de ahora conoceremos más a fondo la dinámica y el funcionamiento de esta zona del cerebro de la mano de un potencial eléctrico cerebral, el Potencial de Reconocimiento (PR), fácil de obtener -como veremos en la sección final- y cuyo origen está, según todos los indicios, en el AFVP (Dien, Frishkoff, Cerbone, Tucker, 2003; Martín-Loeches, 2007).

El Potencial de Reconocimiento como ventana abierta al AFVP

El Potencial de Reconocimiento (PR) es una respuesta eléctrica del cerebro de polaridad negativa cuyo pico máximo suele oscilar (en adultos) entre 200 y 250 ms y que se obtiene cuando el sujeto ve imágenes reconocibles tales como palabras (Martín-Loeches, Hinojosa, Gómez-Jarabo y Rubia, 1999; Rudell, 1991; Rudell y Hua, 1997) o dibujos (Hinojosa, Martín-Loeches, Gómez-Jarabo, y Rubia., 2000; Rudell, 1992) (Figura 1). Los paralelismos entre lo que se sabe acerca del funcionamiento del AFVP y la respuesta del PR son tales que no sólo permiten identificar a este potencial como originado en aquella zona cerebral, sino que además amplían nuestro conocimiento acerca de la dinámica del AFVP y su inserción dentro del complejo proceso de la lectura.

Por una parte, el AFVP se localiza precisamente en la zona del cerebro donde el PR muestra su origen en las reconstrucciones de fuentes neurales generadoras mediante algoritmos (Martín-Loeches, Hinojosa, Gómez-Jarabo y Rubia, 2001b; Dien et al., 2003). Por otra, mediante estudios costosos con resonancia magnética funcional, o invasivos como la inserción de electrodos intracerebrales, se ha visto que el AFVP es sensible a una constelación de factores a los que el PR lo es igualmente, incluyendo no sólo aspectos relacionados con el reconocimiento visual de las palabras, sino con su contenido semántico o la relación de éste con el contexto, como veremos. Entre las similitudes funcionales entre la respuesta del PR y el AFVP cabe destacar su activación diferencial a diversos niveles de información contenidos en un estímulo, es decir, que su activación es progresivamente mayor en función de su grado de parecido visual a una palabra. Así, tanto el PR como el AFVP son activados, aunque mínimamente, por series de letras impronunciables, algo más por pseudopalabras, y mucho más por palabras (Cohen et al., 2000 para el AFVP; Martín-Loeches et al., 1999 para el PR; véase también la Figura 1). Por último, se ha visto que el AFVP se comienza a activar en torno a los 200 ms tras la presentación de la palabra

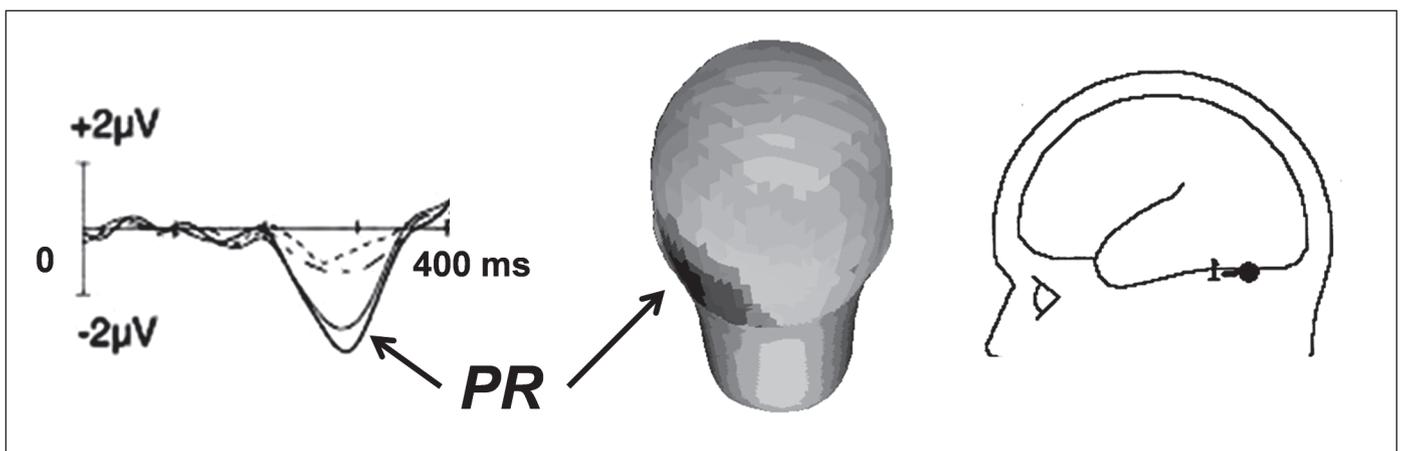


Figura 1. Representación del Potencial de Reconocimiento (PR, izquierda), con una latencia ligeramente más tardía de los habitual debido a la superposición de puntos aleatorios en la imagen, en dos tipos de palabras: el de mayor voltaje es producido por palabras de la categoría 'animales', seguido en amplitud por 'no-animales'; se pueden observar también PRs dos muy pequeños -líneas punteadas- a pseudopalabras y secuencias de letras impronunciables, teniendo aquellas ligeramente mayor voltaje que estas últimas. En el centro puede observarse un mapa topográfico del componente, donde se observa que es mayor en el hemisferio izquierdo. La localización neural del origen de este componente está en las partes basales del lóbulo temporal (derecha, marcado por el punto).

(Nobre, Allison, y McCarthy., 1994; Dehaene et al., 2001), exactamente igual que el PR (Rudell, 1991).

Hagamos ahora una revisión de los principales factores que afectan al PR y, por extrapolación, al AFVP, para poder llegar así a una interpretación funcional acerca de los procesos en los que estaría implicada, y de qué manera, esta parte del cerebro que tan relevante papel tiene para la lectura.

Qué información nos proporciona el PR (I): procesamiento visual

En el primer trabajo en el que se dio a conocer el PR (Rudell, 1990), una revisión de trabajos no publicados de Alan P. Rudell destacaba la sensibilidad de este componente a imágenes reconocibles, tales como palabras, dibujos de caras, imágenes simples y patrones geométricos. Estudios subsiguientes de este autor y sus colegas se centraron, de hecho, en describir los aspectos visuales o “gestálticos” que afectan a este potencial. En aquellos trabajos se estableció la latencia de su pico en torno a los 200-250 ms (Rudell, 1992), si bien ciertas manipulaciones podían incrementar esa latencia, tales como la degradación de la calidad del estímulo (Rudell, 1991; Rudell y Hua, 1995), la superposición de patrones aleatorios de puntos –para homogeneizar visualmente la imagen– (Rudell y Hua, 1997), o la utilización de palabras difíciles –o poco frecuentes– (Rudell 1999; Rudell y Hua, 1997). Por contra, su latencia podría verse sensiblemente disminuida por factores como el priming o la presencia de una señal de alarma precediendo al estímulo (Rudell y Hu, 2001; Rudell y Hua, 1996a). También se comprobó que la latencia del PR correlaciona con el tiempo de reacción de manera mucho mayor que otros componentes –como la P300– normalmente considerados como relacionados con esta medida (Rudell y Hua, 1997). En el estudio de Rudell y Hua (1996b), además, se hizo evidente que el PR está fuertemente relacionado con la atención consciente del estímulo. En ese estudio, donde se emplearon sujetos que conocían con solvencia tanto el idioma chino como el inglés, se presentaron palabras escritas en las grafías de ambos idiomas, originándose el PR sólo ante las palabras del idioma atendido.

Del mayor interés fue encontrar que el PR parecía un magnífico predictor de la capacidad lectora. Rudell and Hua (1997) demostraron que los participantes que obtenían las mayores calificaciones en las puntuaciones verbales del *Graduate Record Examination*, una prueba estandarizada de admisión en escuelas de postgrado de Estados Unidos, tenían una menor latencia de PR. A partir de estos datos, los autores propusieron que el PR estaría reflejando la velocidad de percepción de palabras ligada específicamente a la capacidad lingüística, y que por tanto se podría usar para estudiar diferencias individuales en la percepción visual de palabras. Esta afirmación se ha confirmado recientemente y de forma directa en el estudio Rudell y Hu (2010), donde se ha encontrado una relación directa de la latencia del PR con los años de experiencia y la práctica habitual de la lectura, mayor que la que pueda tener el tiempo de reacción en una tarea de reconocimiento de palabras.

En su trabajo de 1997, Rudell y Hua propusieron la posibilidad de que el PR fuera sensible también al procesamiento semántico de las imágenes o de las palabras. Si ese fuera el caso, la utilidad del PR sería mucho mayor, pues el principal índice eléctrico cerebral de procesamiento semántico suele ser la negatividad N400 (Kutas, 1997), que normalmente presenta su pico a los 400 ms, una latencia muy tardía teniendo en cuenta que el procesamiento semántico (el acceso al léxico) de una palabra se estima en unos 250 ms durante la lectura (e.g., Sereno, Rayner y Posner, 1998), mucho más acorde con la latencia del PR. Sin embargo, los estudios posteriores de Rudell y colaboradores se siguieron centrando en los aspectos visuales que afectan al PR. Así, en Rudell y Hu (1999) se describe un PR al reconocimiento de letras aisladas, el cual se vería afectado por la complejidad del patrón visual circundando la letra; en Rudell, Hu, Prasad y Andersons (2000), las letras invertidas provocaban un aumento significati-

vo de la latencia del PR respecto a las no invertidas. Este tipo de evidencias demostraban la sensibilidad del PR al momento en que un individuo identifica el patrón gestáltico de un estímulo visual. Más recientemente, los datos de Pu y colaboradores (2005) apoyarían aún más esta interpretación al encontrarse que la amplitud del PR se ve afectada directamente por la similitud visual entre estímulos distractores y experimentales.

Qué información nos proporciona el PR (II): procesamiento semántico

La posibilidad de que el PR, y por tanto el AFVP, fuera sensible a la información semántica ligada a la palabra comenzó a estudiarse en el trabajo de Martín-Loeches y colaboradores (1999). En dicho estudio se utilizaron palabras reales junto con estímulos distractores consistentes en series de letras y pseudopalabras, encontrándose la mayor amplitud del PR a las palabras reales. Esto fue interpretado como un índice de la sensibilidad del PR al contenido semántico de las palabras, si bien quedaba abierta la posibilidad de que la reacción se debiera meramente al reconocimiento visual de palabras ya conocidas por los lectores (sin acceso al léxico). Estudios subsiguientes, sin embargo, demostraron la sensibilidad del PR a aspectos de las palabras que sólo podrían explicarse por su procesamiento semántico. Así, en Martín-Loeches et al. (2001b) se encontró que la amplitud del PR se veía afectada por la categoría semántica de las palabras. El PR mostraba mayor amplitud a palabras pertenecientes a la categoría ‘animales’ frente a ‘no-animales’, aun manteniendo constantes no sólo los parámetros visuales de los estímulos, sino incluso aspectos léxicos relevantes tales como la frecuencia de uso de las palabras o su longitud. También se encontró que la amplitud del PR es mayor ante palabras de contenido concreto frente a palabras abstractas (Martín-Loeches, Hinojosa, Fernández-Frías y Rubia., 2001a), o para palabras de clase abierta frente a palabras de clase cerrada (Hinojosa et al., 2001a). La especial sensibilidad del PR a la dimensión semántica abstracto-concreto se corroboró posteriormente en el trabajo de Martín-Loeches, Muñoz, Casado, Hinojosa y Molina. (2004b), donde también se encontró en un grupo de pacientes esquizofrénicos. En este trabajo, curiosamente, aquellos pacientes con trastorno formal del pensamiento, presumiblemente causado por una alteración de su sistema semántico, mostraron una amplitud del PR significativamente reducida.

Otros estudios confirmaron la sensibilidad del PR a aspectos semánticos del estímulo. En este sentido, Dien et al. (2003) encontraron que la repuesta funcional del PR podría variar de un hemisferio cerebral a otro en función de la relación entre la palabra y un contexto semántico previo. Marí-Beffa, Valdés, Cullen, Catena y Houghton (2005), por su parte, demostraron que la amplitud del PR se veía modulada por un efecto de priming semántico. La sensibilidad del PR a la información semántica, tanto de la palabra como de ésta en relación a su contexto previo, también fue encontrada en el estudio de Martín-Loeches, Hinojosa, Casado, Muñoz y Fernández-Rios (2004a), donde el PR aumentaba su amplitud en función de la congruencia semántica de una palabra respecto al contexto oracional, algo similar a lo que ocurre con el componente más tardío N400, antes mencionado, y en consonancia con recientes evidencias del procesamiento semántico contextual de la oración en los tiempos de latencia del PR (Hauk, Davis, Ford, Pulvermüller y Marslen-Wilson, 2006). Esta sensibilidad del PR al contexto semántico oracional se han visto igualmente respaldada por el trabajo de Proverbio y Riva (2010).

El PR y los procesos implicados en la lectura de palabras

En principio, pudiera parecer paradójico o incompatible que una misma zona del cerebro, presuntamente especializada en la identificación visual de objetos y que se ha dedicado para la identificación visual de palabras, sea sensible tanto a aspectos puramente visuales

('gestálticos') del estímulo, más bien pre-léxicos, como a aspectos postléxicos como el contenido semántico de una palabra, y aún más su integración con el contexto semántico oracional. Este tipo de dicotomías han causado algún debate al respecto (p.e., Pu et al., 2005; Martín-Loeches, 2007; Zhang, Liu y Zhang, 2009). Sin embargo, dicha dicotomía es admisible y compatible con lo que sabemos acerca del funcionamiento del cerebro, y de hecho nos estaría dando pistas acerca de las funciones del AFVP y de sus relaciones con otros tipos de procesamiento que concurren durante la lectura. A continuación presentaremos de forma concisa y actualizada el modelo propuesto en Martín-Loeches (2007) sobre la dinámica de funcionamiento del AFVP en base a los datos obtenidos mediante el estudio del PR.

Empezaremos ampliando el número de procesos implicados en la lectura que se relacionan con el AVFP considerando los modelos de Bruce y Young (1986) para el reconocimiento facial, Ellis y Young (1996) para el reconocimiento de objetos y Black y Behrmann (1994) y Valentine, Moore y Brédart (1995) para el procesamiento visual de nombres, que también puede aplicarse a las palabras escritas en general (Figura 2). El PR ha sido encontrado para todos estos tipos de estímulo. Según estos modelos, entre los estadios iniciales de análisis de caras, objetos o nombres se encuentran la codificación pictórica y la estructural (de la forma de la palabra, en el caso de los nombres), proporcionando esta última la información necesaria para un siguiente estadio, el de las 'unidades de reconocimiento' facial, de objetos o de nombres, respectivamente. En las unidades de reconocimiento correspondientes, los productos de la codificación estructural se emparejarían con representaciones estructurales almacenadas de caras, objetos o palabras conocidos, desde los que se puede acceder a la información semántica correspondiente. Se puede asumir de manera muy plausible que los análisis estructurales de nombres o palabras se encuentran en el AVFP, pues el proceso implica identificar las formas visuales de las palabras.

En un estudio (Martín-Loeches, Sommer e Hinojosa, 2005) se pudo comprobar de manera directa qué proceso reflejaría el PR según estos modelos. Los resultados del estudio mostraron que la activación de las unidades de reconocimiento se vería reflejada por un potencial eléctrico denominado *efecto de repetición temprano*, o N250r, con una topografía (mapa de actividad eléctrica cerebral) diferente para cada tipo de estímulo presentado (nombres o fotografías de personas conocidas). Por su parte, el PR, dada su invariancia topográfica a los dos tipos de estímulo reflejaría la actividad de los procesos de análisis estructural o de forma de palabra. Esa invariancia topográfica indicaría una localización similar del origen cerebral del PR para ambos tipos de estímulo, lo que se explica si recordamos que el AFVP es una parte de la corteza dedicada al reconocimiento estructural de los objetos. Por lo tanto, habría que descartar que la actividad reflejada por el PR se deba a la activación de los estadios correspondientes al análisis semántico, aún más tardíos que los de las unidades de reconocimiento. Por el mismo razonamiento, también deberían descartarse los estadios precedentes, que además se suelen ver reflejados por potenciales de más corta latencia, como la P100, que refleja el procesamiento visual temprano y es sensible a aspectos visuales básicos como el brillo, el contraste o el tamaño (Schendan, Ganis y Kutas, 1998). El PR estaría reflejando, primaria y principalmente, la activación del AFVP, y la misión de ésta es detectar las formas visuales de las palabras.

La compleja dinámica del AFVP

Sin embargo, como hemos visto más arriba, el PR presenta cierta sensibilidad a otros rasgos de los estímulos visuales que no se corresponden con su categorización estructural, sino a aspectos más básicos del procesamiento visual; por ejemplo, series de letras impronunciabiles en una tarea de identificación de palabras. Por tanto, esas

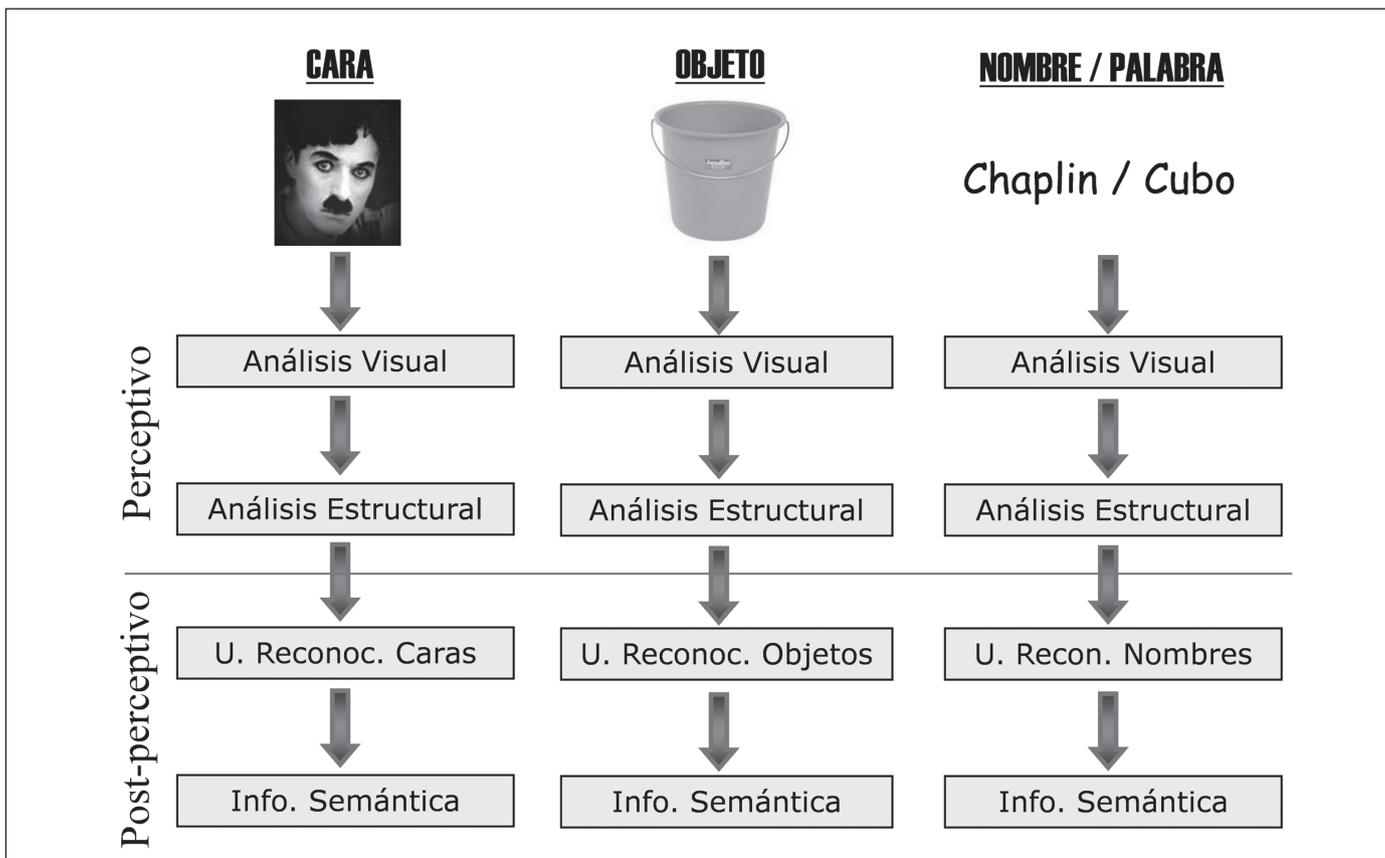


Figura 2. Representación esquemática de los modelos de Bruce y Young (1986) para el procesamiento facial (izquierda), Ellis y Young (1996) para el procesamiento de objetos (centro), y Black y Behrmann (1994) y Valentine et al. (1995) para el procesamiento visual de nombres (derecha).

propiedades visuales básicas estarían también activando el AFVP, aunque con mucha menor intensidad que los estímulos con una estructura reconocible. Igualmente, también hemos revisado la sensibilidad del PR a la información semántica de la palabra, e incluso a su congruencia con el contexto oracional. Dicho de otra forma, por un lado tenemos que la actividad reflejada por el PR corresponde a la del AFVP, y ésta está especializada en el reconocimiento estructural de las palabras. Por otro, esa parte del cerebro también se activa por otros tipos distintos de información, que no son los estructurales visuales. En realidad, esto nos estaría indicando que los esquemas de la Figura 2 necesitan ser ajustados a la realidad cerebral, y considerar no sólo que las conexiones entre los distintos procesos cerebrales suelen ser recíprocas, sino, también, que esos procesos suelen trabajar en paralelo.

En la Figura 3 se pueden entender los distintos procesos que afectarían y que serían afectados por la activación del AFVP. Hemos añadido algunas procesos más a los que aparecen en la Figura 2, necesarios para entender las distintas sensibilidades del PR que hemos discutido, así como circuitos recíprocos y procesamiento en paralelo de la información, en consonancia con propuestas más recientes del procesamiento de palabras (e.g., Hauk et al., 2006) y necesarios para entender por qué la información visual primaria o la semántica podrían afectar a los procesos de análisis de la forma visual de la palabra.

El modelo propuesto en la Figura 3, que supone un desarrollo respecto al propuesto en Martín-Loeches (2007), resolvería muchos de los problemas de interpretación que nos hemos planteado más arriba. Por ejemplo, la activación del AFVP ante estímulos carentes de la estructura visual pertinente, o ante información de tipo puramente semántico, incluido el contexto de la oración. En este sentido, respecto a los modelos mostrados en la Figura 2, la información semántica se ha dividido en al menos dos tipos, correspondientes a la información léxica de la palabra y a la del contexto. Resultados recientes obtenidos por Guo et al. (2012), donde se ha visto que estados emocionales positivos o negativos son capaces de afectar a la latencia y la amplitud del PR, habría que enmarcarlos dentro de los procesos contextuales semánticos o en procesos más generales ('otros' en la Figura 3).

El hecho de que la respuesta del RP ocurra siempre en el mismo momento, es decir, tenga siempre la misma latencia (entre 200 y 250 ms) independientemente del tipo de información implicado, varian-

do principalmente en amplitud, se explicaría por el procesamiento en paralelo propuesto. En este sentido, la AFVP, aún dedicada a la identificación de la forma visual de las palabras, recibiría e integraría los resultados de los otros tipos de información, o al menos parte de ellos (los análisis semánticos podrían comenzar tan pronto como a los 80 ms; p.e., Skrandies, 1998), para dar una respuesta unitaria y puntual en el tiempo. De manera recíproca, esta respuesta podría ser también relevante para completar los análisis de otros tipos de información que se estén llevando a cabo en otros lugares. Se confirma así que el AFVP y, por tanto, la actividad reflejada por el PR, tienen un papel capital en los procesos de lectura.

Cómo obtener el PR: requerimientos y procedimientos

Hasta aquí creemos que ha quedado argumentada la utilidad e importancia de estudiar el PR en el ámbito de la lectura, y esto es así tanto a nivel de investigación básica como en el ámbito del diagnóstico clínico o el entorno educativo. Con el PR tenemos un acceso directo al 'disparo' de la AFPV en un individuo durante la lectura de palabras, y por lo tanto una estimación individual precisa del momento en que una persona procesa la forma visual de la palabra; además, tenemos una estimación indirecta de la constelación de procesos que, como hemos visto, afectan a la amplitud y la latencia del PR. A esto se añade la ventaja de que el equipamiento necesario -la tecnología de registro de actividad eléctrica cerebral- es realmente mínimo y asequible. Máxime cuando lo único que se necesita para obtener el PR son dos electrodos, ambos unidos a un mismo canal diferencial de un amplificador electroencefalográfico. Si de lo que se dispone es de un solo canal (la opción más sencilla), bastará con los electrodos Pz -en la línea media del parietal- y el ubicado sobre el Inion -en la línea media, en la parte posterior de la base del cráneo-, siendo la referencia esta última. Si se dispone de más canales, es suficiente una referencia en ambos mastoides promediados y electrodos activos en PO7 y PO8 (parieto-occipitales, izquierdo y derecho).

Aunque se puede observar un PR con cualquier procedimiento estándar de presentación visual de palabras (e.g., Marí-Beffa et al., 2005), en cuyo caso su visibilidad puede ser potenciada mediante análisis de componentes principales temporales (Dien et al., 2003), recomendamos encarecidamente la presentación habitual establecida para el PR, denominada Estimulación de Corriente Rápida (de Rapid Stream Stimulation; Rudell, 1992; Hinojosa et al., 2001b). El procedimiento es muy sencillo y consiste en alternar estímulos reconocibles (palabras reales) con estímulos no reconocibles (o 'background') a una alta tasa de presentación, normalmente con un intervalo entre comienzos de estímulos (el denominado SOA -stimulus onset asynchrony-) de unos 250 ms. Los estímulos no reconocibles carecen de estructura y significado, pero poseen características físicas similares a las de los reconocibles; para ello, se suelen utilizar las mismas imágenes de los estímulos reconocibles pero divididos en varios trozos y recolocados al azar. La superposición de puntos al azar en la imagen suele homogeneizar aún más las similitudes visuales. El procedimiento habitual implica la presentación de una mayoría de estímulos no reconocibles, apareciendo aleatoriamente, tras 2 a 6 estímulos no reconocibles, uno reconocible.

El procedimiento de Estimulación de Corriente Rápida tiene su razón de ser en que fuerza a los sujetos a procesar los estímulos a intervalos regulares cortos, lo que decrece la variabilidad intrasujeto durante la lectura. La presencia mayoritaria de estímulos no reconocibles facilita que la vía visual aferente primaria se sacie de alguna manera, lo que disminuye los componentes eléctricos primarios y, por tanto, se potencia la visibilidad de otros potenciales como el PR. En los análisis finales, cuando se analice la actividad eléctrica ligada a cada estímulo, se promediarán los estímulos no reconocibles por un lado y los reconocibles por otro; la diferencia entre la actividad eléctrica obtenida ante estos últimos restada a la obtenida para aquellos dará lugar a un PR pleno y bien visible.

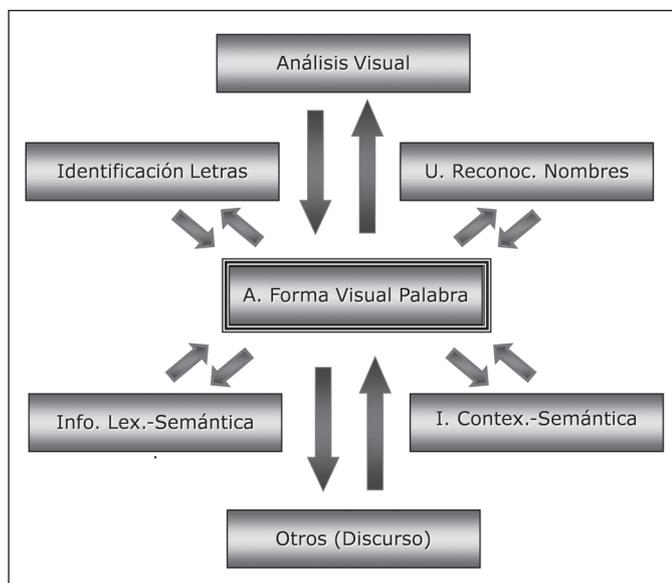


Figura 3. Propuesta actualizada a partir de Martín-Loeches (2007) de los procesos implicados en el procesamiento de palabras escritas, centrados en el área para el procesamiento de la forma visual de las palabras (AFVP), origen del Potencial de Reconocimiento (PR).

Como se puede comprobar, obtener un PR es muy sencillo y no conlleva complicaciones ni técnicas ni metodológicas, mientras que nos proporciona información de primera mano sobre la actividad de una zona del cerebro crucial para la lectura, la *puerta* de la lectura (Martín-Loeches, 2007). Es por esta razón que desde estas páginas animamos a desarrollar y ampliar su uso, y en múltiples ámbitos, a todos aquellos interesados en los procesos de lectura.

Extended summary

A relatively well-defined region of the brain, the so-called Visual Word-Form Area (VWFA) is crucial for the reading process, as it has a central role as a gate of written visual information into the neural circuits for language (Dehaene y Cohen, 2011). The VWFA is located within the basal part of the temporal cortex, mainly left. Its functionality has biased the main features that all written languages throughout the world, both current and historical, exhibit. In this regard, the VWFA results from a recycling of visual areas, shared with most primates, and specialized in object recognition, particularly object contour configurations. Contours project into the retina forming typical patterns (such as T, Y, O) that tend to be invariant relative to viewpoint and that provide essential information about objects and their spatial relationships. A 'Y', for instance, indexes the conjunction of three surfaces. Certainly, the VWFA is using part of these cortical regions (Szwed, et al., 2011), and it can be argued that the letters in alphabets world-wide are constrained by this system. By learning and instruction, a portion of that part of the primate visual system devoted to object identification becomes able, in humans, to identify letters and common letter combinations; that is, becomes able to identify whole words or visual word-forms

Thanks to an electrical brain potential arguably originated in the VWFA (Dien et al., 2003), the Recognition Potential (RP), we know a number of features describing the functional characteristics of the VWFA during reading. The RP is an electrical response of the brain of negative polarity (Figure 1) normally peaking (in adults) between 200 and 250 ms, obtained when a subject see recognizable images such as words, face cartoons, simple images or geometrical patterns. Essentially, they are 'gestaltic' aspects of visual stimulation what impact this electrical potential.

Of the highest interest, the RP has been seen displaying an excellent predictive power on reading ability (Rudell y Hua, 1997). Subjects with the highest values in the verbal scores of the *Graduate Record Examination* exhibited significantly reduced RP latencies, suggesting that the RP reflects word perception speed as an ability specifically linked to language. Accordingly, it can be used to study individual differences in visual perception of words, an assertion recently confirmed by Rudell y Hu (2010), who reported a strong relationship between reading experience and practice on one hand and latency and amplitude of the RP on the other.

A number of studies have also found the sensitivity of the RP to aspects of the stimuli than can only be allegedly of semantic origin. In this regard, it has been reported that the RP –and, hence, of the VWFA– reacts to semantic category of the words (Martín-Loeches et al., 2001b), to the abstract-concrete dimension of the lexical information (Martín-Loeches et al., 2001a), as well as to the open vs. closed-class category of words (Hinojosa et al., 2001a). The sensibility of the RP to sentential semantic structure has also been reported (Proverbio y Riva (2010).

In principle, it may appear paradoxical that one and the same brain region devoted such a 'gestaltic' endeavor as is word-form identification is also sensitive to lexico-semantic information and, what is more, to sentence contextual semantic aspects. Figure 3 displays a working scheme, a model proposed in Martín-Loeches (2007) and here extended, which would explain the response of the RP to all these kind of stimuli. The model incorporates the regular feed- and backward circuits of the cerebral cortex, as well as the parallel pro-

cessing assumption, as brain work seems to support. The model would solve, for instance, the response –even if minimal– of the AFPV to stimuli devoid of the pertinent visual structure, or to information relative to sentential semantic context. As can be observed, semantic information has been split into at least two types, adjusting the model to the different responses observed for the RP. Recent results by Guo et al. (2012), on the sensibility of the RP to emotional states, should be framed within contextual semantic processes or within 'other' processes, as contemplated in the model.

Parallel processing is necessary to explain why a specific cortical region displays always its activation at about 200-250 ms regardless of the type of information activating it, being only RP amplitude what is affected by this variable. In this regard, the VWFA, even if devoted to identify the visual form of words, would receive and integrate the results –or at least part of them– of processing occurring elsewhere (semantic analyses may start as soon as by 80 ms; e.g., Skrandies, 1998), yielding a timing and unitary response. In a reciprocal manner, this response might also be relevant in order to achieve the processing occurring in other places. It is therefore established the central role of the VWFA, reflected in the RP, in the reading processes.

Accordingly, the RP becomes a precise tool to directly measuring the moment at which a given person processes the visual form of words, while being also an indirect estimation of the constellation of processes affecting RP latency and amplitude, reviewed above. An added advantage of the RP is that the technology necessary to obtain it –electroencephalographic, EEG, apparatus– is certainly minimal and easily available. Indeed, the only that is needed is pair of electrodes connected to a single EEG channel. One of the electrodes should be located at Pz –in the midline of parietal areas–, whereas the other should be at the Inion –midline, posterior part of the cranium base–, the latter working as reference. It is advised to use a specific procedure (Rudell, 1992), the Rapid Stream Stimulation, mainly consisting in the alternation of recognizable (i.e., real words) and unrecognizable (or 'background') stimuli with SOA –stimulus onset asynchrony– of about 250 ms. As non-recognizable stimuli, it is customary the use of scrambled images of the recognizable stimuli. Typically, a recognizable stimulus must appear after 2-6 unrecognizable stimuli (this number randomized). The electrical activity evoked by the latter must be subtracted from the activity evoked by recognizable stimuli to attain plain and highly visible RP.

Conflicto de intereses

El autor declara que no tiene ningún conflicto de intereses.

Financiación

El autor está financiado por el proyecto PSI2010-19619 del Ministerio de Economía y Competitividad (España).

Referencias

- Biederman, I. (1987). Recognition-by-components: a theory of human image understanding. *Psychological Review*, 94, 115-147.
- Black, S.E., Behrmann, M., (1994). Localization in alexia. In A. Kertesz (ed.) *Localization and Neuroimaging in Neuropsychology*. (pp. 331-376). Academic Press, London.
- Bruce, V. y Young, A. (1986). Understanding face recognition. *British Journal of Psychology*, 77, 305-327.
- Changizi, M.A., Zhang, Q., Ye, H. y Shimojo, S. (2006) The structures of letters and symbols throughout human history are selected to match those found in objects in natural scenes. *American Naturalist*, 167, E117-139.
- Cohen, L., Dehaene, S., Naccache, L., Lehericy, S., Dehaene-Lambertz, G., Henaff, M.A. y Michel, F., (2000). The visual word form area: spatial and temporal characterization of an initial stage of reading in normal subjects and posterior split-brain patients. *Brain*, 123, 291-307.
- Dehaene, S., (2005). Evolution of human cortical circuits for reading and arithmetic: the "neuronal recycling" hypothesis. In S. Dehaene, J-R. Duhamel, M. D. Hauser, G. Rizzolatti (Eds.) *From Monkey Brain to Human Brain* (pp. 133-158). Cambridge MA: MIT Press.

- Dehaene, S. y Cohen, L. (2007). Cultural recycling of cortical maps. *Neuron*, 56, 384-398.
- Dehaene, S. y Cohen, L. (2011) The unique role of the visual word form area in reading. *Trends in Cognitive Sciences*, 15, 254-262.
- Dehaene, S., Jobert, A., Naccache, L., Ciuciu, P., Poline, J.B., Le Bihan, D. y Cohen, L. (2004) Letter binding and invariant recognition of masked words: behavioral and neuroimaging evidence. *Psychological Science*, 15, 307-313.
- Dehaene, S., Naccache, L., Cohen, L., Le Bihan, D., Mangin, J.-F., Poline, J.-B. y Rivière, D. (2001). Cerebral mechanisms of word masking and unconscious repetition priming. *Nature Neuroscience*, 4, 752-758.
- Dien, J., Frishkoff, G.A., Cerbone, A. y Tucker, D. M. (2003). Parametric analysis of event-related potentials in semantic comprehension: evidence for parallel brain mechanisms. *Cognitive Brain Research*, 15, 137-153.
- Ellis, A. W. y Young, A. W. (1996). *Human Cognitive Neuropsychology* (2nd ed.). Psychology Press, LEA, Hillsdale (NJ).
- Guo, T., Chen, M. y Peng, D. (2012) Emotional States Modulate the Recognition Potential during Word Processing. *PLoS ONE* 7(10): e47083. doi:10.1371/journal.pone.0047083.
- Hauk, O., Davis, M.H., Ford, M., Pulvermüller, F. y Marslen-Wilson, W.D. (2006). The time course of visual word recognition as revealed by linear regression analysis of ERP data. *NeuroImage*, 30, 1383-1400.
- Hinojosa, J. A., Martín-Loeches, M., Gómez-Jarabo, G. y Rubia F. J. (2000). Common basal extrastriate areas for the semantic processing of words and pictures. *Clinical Neurophysiology*, 111, 552-560.
- Hinojosa, J.A., Martín-Loeches, M., Casado, P., Muñoz, F., Carretié, L. Fernández-Frías, C. y Pozo, M.A. (2001a). Semantic processing of open and closed-class words: an event-related potentials study. *Cognitive Brain Research*, 11, 397-407.
- Hinojosa, J. A., Martín-Loeches, M., Casado, P., Muñoz, F., Fernández-Frías, C. y Pozo, M. A. (2001b). Studying semantics in the brain: the rapid stream stimulation paradigm. *Brain Research. Protocols*, 8, 199-207.
- Kutas, M. (1997). Views on how the electrical activity that the brain generates reflects the functions of different language structures. *Psychophysiology*, 34, 383-398.
- Marí-Beffa, P., Valdés, B., Cullen, D.J.D., Catena, A. y Houghton, G. (2005). ERP analyses of task effects on semantic processing from words. *Cognitive Brain Research*, 23, 293-305.
- Martín-Loeches, M. (2007) The gate for reading: reflections on the recognition potential. *Brain Research Reviews*, 53, 89-97.
- Martín-Loeches, M., Hinojosa, J. A., Gómez-Jarabo, G., y Rubia F. J. (1999). The recognition potential: An ERP index of lexical access. *Brain & Language*, 70, 364-384.
- Martín-Loeches, M., Hinojosa, J. A., Fernández-Frías C. y Rubia F. J. (2001a). Functional differences in the semantic processing of concrete and abstract words. *Neuropsychologia*, 39, 1086-1096.
- Martín-Loeches, M., Hinojosa, J. A., Gómez-Jarabo, G. y Rubia F. J. (2001b). An early electrophysiological sign of semantic processing in basal extrastriate areas. *Psychophysiology*, 38, 114-124.
- Martín-Loeches, M., Hinojosa, J. A., Casado, P., Muñoz, F. y Fernández-Frías, C. (2004a). Electrophysiological evidence of an early effect of sentence context in reading. *Biological Psychology*, 65, 265-280.
- Martín-Loeches, M., Muñoz, F., Casado, P., Hinojosa, J.A. y Molina, V. (2004b). An electrophysiological (ERP) component, the Recognition Potential, in the assessment of brain semantic networks in patients with Schizophrenia. *Schizophrenia Research*, 71, 393-404.
- Martín-Loeches, M., Sommer, W. e Hinojosa, J.A. (2005). ERP components reflecting stimulus identification: Contrasting the recognition potential and the early repetition effect (N250r). *International Journal of Psychophysiology*, 55, 113-125.
- Nobre, A. C., Allison, T. y McCarthy, G. (1994). Word recognition in the human inferior temporal lobe. *Nature*, 372, 260-263.
- Price, C. J. y Devlin, J. T. (2003). The myth of the visual word form area. *NeuroImage*, 19, 473-481.
- Proverbio, A. M. y Riva, F. (2010). RP and N400 ERP components reflect semantic violations in visual processing of human actions. *Neuroscience Letters*, 459, 142-146.
- Pu, J., Peng, D., Demaree, H.A., Song, Y., Wei, J. y Xu, L. (2005). The recognition potential: Semantic processing or the detection of differences between stimuli? *Cognitive Brain Research*, 25, 273-282.
- Qiao E, Vinckier F, Szwed M, Naccache L, Valabrègue R, Dehaene S. y Cohen L. (2010) Unconsciously deciphering handwriting: subliminal invariance for handwritten words in the visual word form area. *NeuroImage*, 49, 1786-1799.
- Rudell, A.P. (1990). The recognition potential: a visual response evoked by recognizable images. *Neuroscience Abstracts*, 16, 106.
- Rudell, A. P. (1991). The recognition potential contrasted with the P300. *International Journal of Neuroscience*, 60, 85-111.
- Rudell, A.P. (1992). Rapid stream stimulation and the recognition potential. *Electroencephalography & Clinical Neurophysiology*, 83, 77-82.
- Rudell, A.P. (1999). The recognition potential and the word frequency effect at a high rate of word presentation. *Cognitive Brain Research*, 8, 173-175.
- Rudell, A. P. y Hu, B. (1999). Effects of target area and letter complexity on event-related potentials and reaction time. *International Journal of Psychophysiology*, 99, 159-180.
- Rudell, A. P. y Hu, B. (2001). Does a warning signal accelerate the processing of sensory information? Evidence from recognition potential responses to high and low frequency words. *International Journal of Psychophysiology*, 41, 31-42.
- Rudell, A. P. y Hu, B. (2010) Effects of long-time reading experience on reaction time and the recognition potential. *International Journal of Psychophysiology*, 76, 158-168.
- Rudell, A. P. y Hua, J. (1995). Recognition potential latency and word image degradation. *Brain & Language*, 51, 229-241.
- Rudell, A. P. y Hua, J. (1996a). The recognition potential and word priming. *International Journal of Neuroscience*, 87, 225-240.
- Rudell, A.P., Hua, J. (1996b). The recognition potential and conscious awareness. *Electroencephalography & Clinical Neurophysiology*, 98, 309-318.
- Rudell, A. P. y Hua, J. (1997). The recognition potential, word difficulty, and individual reading ability: On using event-related potentials to study perception. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 23, 1170-1195.
- Rudell, A. P., Hu, B., Prasad, S. y Andersons, P. V. (2000). The recognition potential and reversed letters. *International Journal of Neuroscience*, 101, 109-132.
- Schendan, H. E., Ganis, G. y Kutas, M. (1998). Neurophysiological evidence for visual perceptual categorization of words and faces within 150 ms. *Psychophysiology*, 35, 240-251.
- Sereno, S. C., Rayner, K. y Posner, M. I. (1998). Establishing a time-line in word recognition: Evidence from eye movements and event-related potentials. *NeuroReport*, 9, 2195-2200.
- Skrandies, W., 1998. Evoked potential correlates of semantic meaning—A brain mapping study. *Cognitive Brain Research*, 6, 173-183.
- Szwed, M., Dehaene, S., Kleinschmidt, A., Eger, E., Valabrègue, R., Amadon, A. y Cohen, L. (2011). Specialization for written words over objects in the visual cortex. *NeuroImage*, 56, 330-344.
- Valentine, T., Moore, V. y Brédart, S. (1995) Priming production of people's names. *Quarterly Journal of Experimental Psychology A*, 48, 513-535.
- von Petzinger, G. (2005) *Making the Abstract Concrete: The Place of Geometric Signs in French Upper Paleolithic Parietal Art*. Tesis doctoral. University of Victoria, 2005.
- Zhang, Y., Liu, Q. y Zhang, Q. (2009) The recognition potential reflects an intermediate level of visual representation. *Neuroscience Letters*, 454, 86-90.